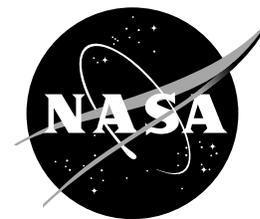


NASA Facts

National Aeronautics and
Space Administration



Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771
<http://www.gsfc.nasa.gov>

Junio 2001

FS-2001-7-023-GSFC

The Earth Science Enterprise Series

Estos artículos discuten los diversos procesos dinámicos de la Tierra y sus interacciones

NASA's Earth Science Enterprise: <http://earth.nasa.gov>

NASA's Earth Observing System Project Science Office: <http://eos.nasa.gov>

Ozono

El Ozono (O_3) es una molécula relativamente inestable compuesta de tres átomos de oxígeno (O). A pesar de que sólo representa una fracción muy pequeña de la atmósfera, el ozono es indispensable para la vida en la Tierra. El ozono puede proteger o resultar nocivo para la vida en la Tierra, dependiendo de donde se encuentre. La mayor parte del ozono se encuentra en la estratosfera

(una capa atmosférica entre 10 y 40 km sobre la superficie), donde actúa como una barrera para proteger la superficie de la Tierra de la perjudicial radiación ultravioleta proveniente del sol. Si esta barrera protectora se llegara a debilitar, seríamos más susceptibles al cáncer de la piel, cataratas y daños al sistema inmunológico. El ozono que se encuentra más cerca a la superficie, en la

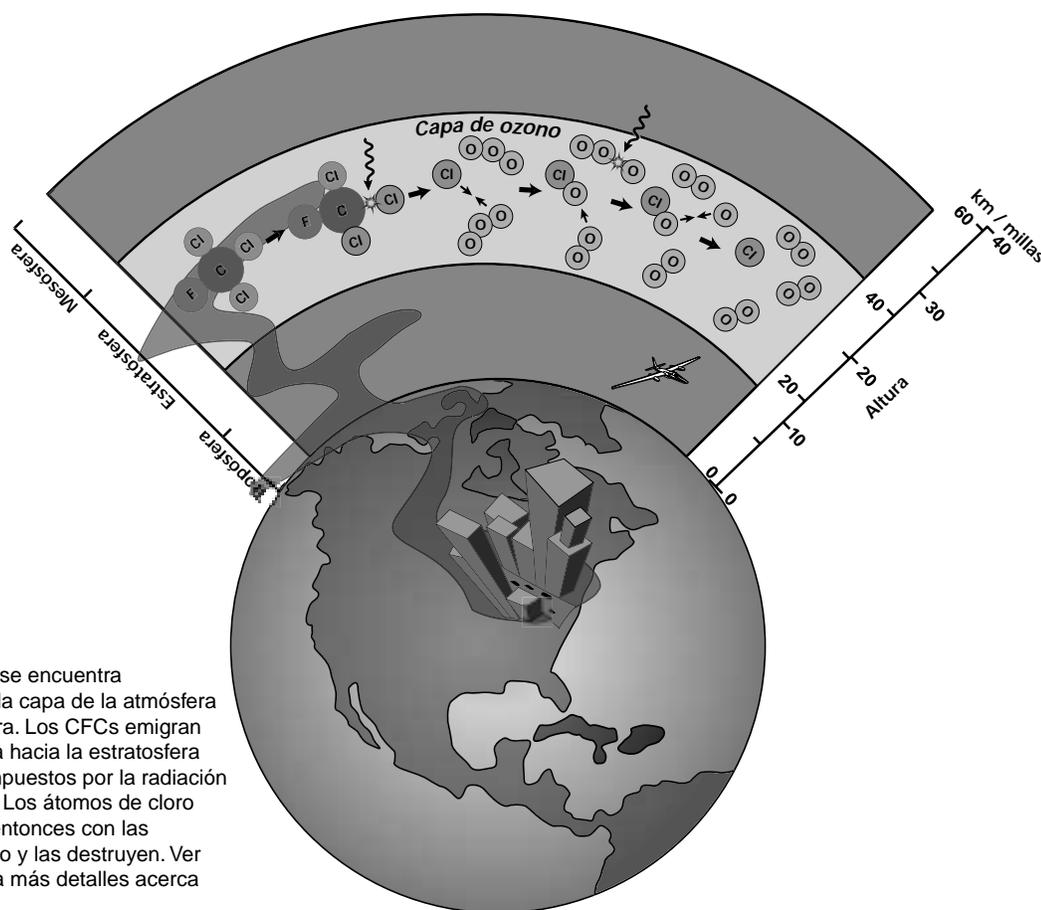


Figura 1. El ozono se encuentra principalmente en la capa de la atmósfera llamada estratosfera. Los CFCs emigran desde la troposfera hacia la estratosfera donde son descompuestos por la radiación ultravioleta del sol. Los átomos de cloro libres reaccionan entonces con las moléculas de ozono y las destruyen. Ver las figuras 2-4 para más detalles acerca de estos procesos.

Producción del ozono

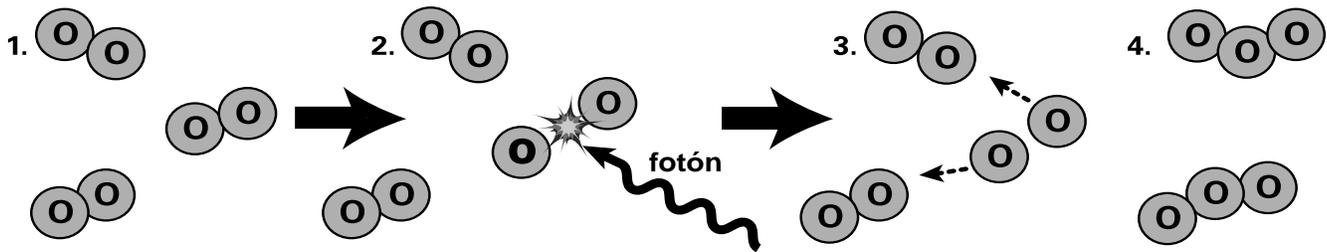


Figura 2. Los cuatro pasos en la producción de ozono. Paso 1: Las moléculas de oxígeno común (indicadas OO). Paso 2: Un fotón de energía solar divide una molécula de oxígeno en dos átomos de oxígeno simple. Paso 3: Los átomos de oxígeno liberados se combinan con las moléculas de oxígeno. Paso 4: El ozono se forma (indicado OOO). Un cambio neto de tres moléculas de oxígeno a dos moléculas de ozono.

troposfera (la capa atmosférica que se extiende desde la superficie hasta aproximadamente 10 km de altura), el ozono es un contaminante nocivo que daña los pulmones y las plantas.

Las cantidades de ozono estratosférico "benigno" y ozono troposférico "perjudicial" en la atmósfera, dependen del balance entre los procesos que producen ozono y los que lo eliminan. Una alteración del balance de ozono puede tener consecuencias muy serias para la vida en la Tierra. Los científicos están encontrando evidencia de que se están produciendo cambios en los niveles de ozono—el ozono troposférico perjudicial—está aumentando en el aire que respiramos, y el ozono estratosférico benigno está disminuyendo en nuestra capa protectora. Este artículo describe los procesos que regulan los niveles de ozono "benigno."

El Balance de Ozono en la Estratosfera

El ozono estratosférico es creado principalmente por la radiación ultravioleta. Cuando rayos ultravioleta de alta energía chocan con moléculas de oxígeno comunes (O_2), las dividen en dos átomos de oxígeno simple, conocido como oxígeno atómico. Uno de los átomos de oxígeno liberado se combina con otra molécula de oxígeno y forma una molécula de ozono (figura 2). Como existe tanto oxígeno en nuestra atmósfera, la radiación ultravioleta de alta energía es completamente absorbida en la estratosfera.

El ozono es sumamente valioso ya que absorbe un rango de energía ultravioleta que es nocivo para la vida en la tierra. Cuando una molécula de ozono absorbe radiación ultravioleta (aunque sea de baja energía), se divide en una molécula ordinaria de oxígeno y un átomo de oxígeno libre. Generalmente el átomo de oxígeno libre rápidamente se junta nuevamente con una molécula de oxígeno para formar otra molécula de ozono. Por medio de este "ciclo de ozono-oxígeno" la peligrosa radiación ultravioleta se transforma continuamente en calor.

Además del "ciclo ozono-oxígeno," otras reacciones naturales también afectan la concentración de ozono en la estratosfera. Debido a que el ozono y los átomos de oxígeno libres son altamente inestables, estos reaccionan fácilmente con compuestos de nitrógeno (N), hidrógeno (H), cloro (Cl) y bromo (Br), los cuales se encuentran naturalmente en la atmósfera terrestre (emitidos por fuentes oceánicas y continentales). Por ejemplo, átomos de cloro libres pueden convertir el ozono en moléculas de oxígeno y esta pérdida de ozono compensa la producción de ozono que proviene del impacto de la radiación ultravioleta de alta energía en las moléculas de oxígeno.

Además del balance natural del ozono, los científicos han descubierto que los niveles de ozono cambian periódicamente como resultado de otros ciclos naturales como el cambio estaciones, los vientos y variaciones solares de largo plazo. Además, las erupciones volcánicas pueden inyectar en la estratosfera sustancias que pueden conducir a la destrucción del ozono.

En el curso de la historia de la Tierra, el equilibrio del ozono estratosférico ha sido regulado por procesos naturales. Una manera sencilla de entender el balance de ozono es imaginando un recipiente con un agujero en el fondo. Mientras se agregue agua al recipiente en la misma proporción que el agua escapa, la cantidad de agua en el recipiente permanece constante. De la misma forma, siempre y cuando el ozono sea producido a la misma velocidad que esta siendo destruido, la cantidad total de ozono no cambia.

Sin embargo, a partir de los años setenta, los científicos han encontrado evidencia de que las actividades humanas están perturbando el equilibrio del ozono. La producción humana de compuestos químicos que contienen cloro tales como los cloro-flúoro-carbonos (CFCs) ha creado un mecanismo factor adicional de destrucción del ozono. Los CFCs son sustancias compuestas de cloro, flúor y carbono. Debido a que estas moléculas son altamente estables, los CFCs no

reaccionan fácilmente con otros compuestos químicos situados en la parte baja de la atmósfera. Una de las pocas fuerzas que puede destruir las moléculas de CFCs es la radiación ultravioleta. En la atmósfera más baja, los CFCs están protegidos de la radiación ultravioleta por la misma capa estratosférica de ozono. Por esta razón, las moléculas de CFC son capaces de trasladarse intactas a la estratosfera. A pesar de que las moléculas de CFCs son más pesadas que el aire, las corrientes atmosféricas y los procesos de mezcla que ocurren en la atmósfera las transportan a la estratosfera.

Una vez en la estratosfera, las moléculas de CFC pierden la protección de la radiación ultravioleta que es proporcionada por la capa de ozono. Las moléculas de CFC son bombardeadas por la energía ultravioleta del sol y se descomponen liberando átomos de cloro. Entonces estos átomos de cloro libres reaccionan con las moléculas de ozono, utilizando un átomo de oxígeno para formar monóxido de cloro y dejando una molécula de oxígeno común (Figura 3).

Si cada átomo de cloro liberado por una molécula de CFC solo destruyera una molécula de ozono, los CFCs representarían poca amenaza para la capa de ozono. Sin embargo, cuando una molécula de monóxido

de cloro se encuentra con un átomo de oxígeno libre, el átomo de oxígeno se descompone al monóxido de cloro, tomando el átomo de oxígeno y liberando nuevamente al átomo de cloro en la estratosfera para consumir más ozono. Como esta reacción química sucede repetidamente, un solo átomo de cloro actúa como catalizador y destruye muchas moléculas de ozono (Figura 4).

Afortunadamente, los átomos de cloro no permanecen en la estratosfera indefinidamente. Cuando un átomo de cloro reacciona con gases tales como el metano (CH_4), el cloro es atrapado en una molécula de ácido clorhídrico (HCl), la cual puede ser transportada hacia la baja atmósfera, o sea la troposfera, de donde puede ser removida por la lluvia. Por esta razón, si el hombre elimina las emisiones de CFCs y otros compuestos químicos que destruyen el ozono estratosférico, eventualmente la capa

de ozono se recuperará.

Disminución del ozono

El término "disminución del ozono" significa más que la simple destrucción natural del ozono. Significa que la cantidad de ozono perdido es mayor que la cantidad de ozono generado. Pensemos de nuevo en la analogía del "recipiente con el agujero." El agregar más sustancias destructoras de ozono como los CFCs a la atmósfera, es como aumentar el tamaño de los agujeros en nuestro "recipiente" de ozono. Cuanto más grandes sean los orificios más grande será el ritmo de pérdida de ozono en comparación al ritmo de producción. Como resultado, el nivel de ozono que nos protege de la radiación ultravioleta disminuye.

Durante los últimos quince años, un mecanismo adicional que destruye ozono rápidamente fue descubierto en las regiones Ártica y Antártica. Durante la estación invernal respectiva en las regiones polares de la Tierra, la estratosfera alcanza temperaturas muy bajas y se forman nubes estratosféricas polares (NEPs). En la estratosfera polar, casi todo el cloro se encuentra en forma de gases inactivos (o reservas) tales como el

ácido clorhídrico (HCl) y el nitrato de cloro (ClONO_2), los cuales no reaccionan con ozono o entre ellos mismos. Sin embargo, reacciones químicas de estos gases de reserva pueden ocurrir en la superficie de las partículas que constituyen las nubes estratosféricas polares, transformando el cloro en formas muy reactivas que destruyen el ozono rápidamente. Esta "química polar" sobre la superficie de las nubes estratosféricas polares ha producido grandes disminuciones en las concentraciones de ozono en las regiones Ártica y Antártica. Los niveles de ozono alcanzados durante la primavera sobre la región Antártica son tan bajos, que los científicos describen esta pérdida como el "Agujero Antártico de la capa de Ozono."

Monitoreo del Ozono desde el Espacio

Desde la década 1920, el ozono ha sido medido por

De Donde proviene el Cloro?

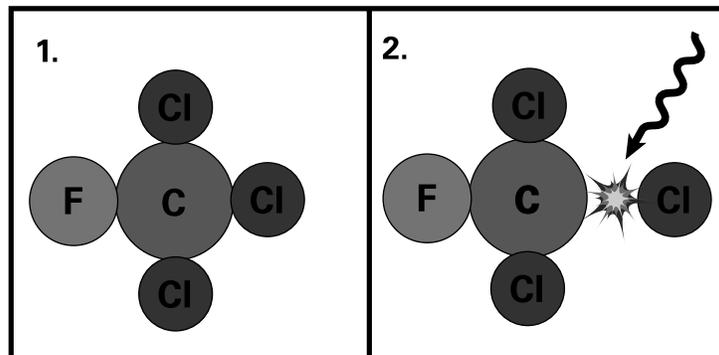


Figura 3. La energía del sol descompone las moléculas de CFC, generando un átomo de cloro libre que reacciona con las moléculas de ozono y las destruye. (C-Carbono, F-Flúor, Cl-Cloro)

medio de instrumentos de superficie. Los científicos colocan instrumentos en varios lugares alrededor del mundo para medir la cantidad de radiación ultravioleta que atraviesa la atmósfera en cada sitio. Con base en estas mediciones, se calcula la concentración de ozono en la atmósfera de ese lugar. Aunque esta información es muy útil para aprender más acerca del ozono, no es adecuada para obtener una visión global de la concentración de ozono.

La cantidad total y la distribución vertical de las moléculas de ozono en la estratosfera varían bastante a nivel global. Las moléculas de ozono son transportadas en la estratosfera de la misma manera que las nubes son transportadas en la troposfera. Por eso, los científicos que observan las fluctuaciones del ozono en un lugar particular, no pueden estar seguros si un cambio local en los niveles de ozono representa una alteración en los niveles globales de ozono, o es solo una fluctuación en ese sitio en particular. El uso de los satélites le ha brindado a la comunidad científica la capacidad de superar esa dificultad porque desde el espacio se obtiene una visión de lo que está pasando cada día en todo el planeta. El programa de mediciones de ozono por satélite de los Estados Unidos, es manejado conjuntamente por la NASA y la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica (NOAA). Este programa ha medido durante más de 20 años la distribución del ozono en función de las estaciones, latitud y longitud usando varios instrumentos en satélites. Estas mediciones han permitido observar cambios a largo plazo. Los instrumentos actualmente utilizados serán reemplazados dentro de los próximos cinco a diez años por una nueva y mas sofisticada generación de instrumentos.

Predicción de los niveles de ozono

El ozono estratosférico esta disminuyendo en todo el mundo—debido en parte a actividades humanas. Los científicos saben ya que las grandes pérdidas polares de ozono son el resultado directo de los efectos de sustancias químicas producidas por el hombre. Sin

embargo, la comunidad científica aun no sabe cuanto de la disminución de ozono en las latitudes medias es el resultado de actividades humanas, y cuanto es debido a las fluctuaciones de los ciclos naturales.

Mediciones e investigaciones están siendo utilizadas para mejorar los modelos de predicción de los niveles de ozono. De hecho, predicciones preliminares de los modelos ya han sido utilizadas en el diseño de políticas guiadas hacia la búsqueda de soluciones al problema de la disminución del ozono. Enfrentados con la alta posibilidad que los CFCs pudieran causar una disminución significativa de ozono, funcionarios gubernamentales a nivel mundial firmaron el Protocolo de Montreal en 1987, el cual limita la producción y el uso de los CFCs. Debido a la acumulación de evidencia de la pérdida del ozono, el Protocolo de Montreal fue fortalecido en 1992. Este tratado buscó para 1996 la total eliminación de la producción de CFCs en los países en desarrollo. Como resultado de estas medidas, las concentraciones de la mayoría de CFCs están lentamente disminuyendo en todo el mundo.

Todavía hay mucho que aprender con relación a los procesos que afectan el ozono. Para producir modelos precisos, los científicos deben estudiar simultáneamente todos los factores que afectan la producción y destrucción del ozono. Además, deben estudiar estos factores continuamente desde el espacio, durante muchos años y a nivel global. El Sistema de Observación de la Tierra (Earth Observing System, EOS) de la

NASA permitirá que la comunidad científica pueda realizar esos estudios. La serie de satélites de EOS llevarán un conjunto sofisticado de instrumentos para medir las interacciones que afectan el ozono en la atmósfera. Sobre la base de la información recopilada durante muchos años por misiones anteriores de la NASA y la NOAA, estas mediciones aumentarán dramáticamente nuestro conocimiento de la química y de la dinámica de la alta atmósfera y nuestro nivel de entendimiento de como las actividades humanas están afectando la capa protectora de ozono de la Tierra.

Perdida del Ozono

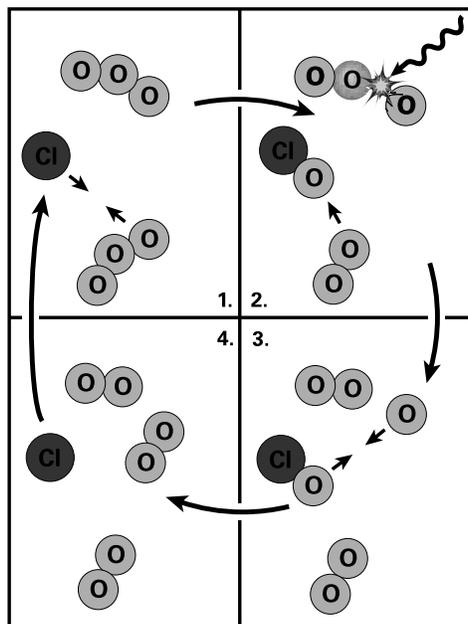


Figura 4. Panel 1: El ozono reacciona con un átomo de cloro (Cl) formando óxido de cloro (ClO). Panel 2: Una molécula de ozono es dividida en una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno. Panel 3: La molécula de ClO del Panel 1 reacciona con el átomo de oxígeno del Panel 2 produciendo un átomo de cloro y una molécula de oxígeno. La reacción neta es la conversión de dos moléculas de ozono (ver panel 1) en tres moléculas de oxígeno (ver panel 4), dejando al átomo de Cl para repetir esta serie.